

EL ANÁLISIS DIGITAL DE IMÁGENES COMO HERRAMIENTA ARQUEOLÓGICA. ESTUDIO DE LOS RESTOS DE PINTURA DE LOS ORTOSTATOS DEL DOLMEN 3 DE EL POZUELO

M.A. Rogerio-Candelera¹ y J.A. Linares Catela²

¹ *Instituto de Recursos Naturales y Agrobiología de Sevilla, IRNAS-CSIC. Avda. Reina Mercedes, 10, 41012 Sevilla; e-mail: m.rogerio@csic.es*

² *Cota Cero G.P.H. S.L. C/ Antonio Machado, 2, local 2-A, 21007 Huelva; e-mail: cotacerogph@gmail.com*

El análisis digital de imágenes (en adelante DIA), entendido como el conjunto de operaciones matemáticas efectuadas con las imágenes matriciales obtenidas con cualquier tipo de sensor,¹ tiene un amplio rango de campos de aplicación, que abarca áreas tan dispares como la teledetección espacial, las ciencias biomédicas, el control de calidad en procesos industriales, o incluso las aplicaciones forenses y policiales. Desde la década de los ochenta del siglo XX, y en relación directa con las progresivas mejora y abaratamiento de los equipos informáticos, así como con la democratización de las cámaras fotográficas digitales, ha sido cada vez más importante el uso que se ha dado a las técnicas de DIA para el estudio y, sobre todo, la documentación del arte rupestre. Una de las aplicaciones más interesantes del análisis digital de imágenes para el estudio del arte rupestre reside en la posibilidad de detectar elementos de difícil o prácticamente nula visualización.^{2,3} En particular las técnicas de descorrelación de los niveles digitales mediante análisis de Componentes Principales (en adelante PCA) han permitido en muchos casos no sólo mejorar la visualización en detalle de elementos conocidos en paneles rupestres sino detectar figuras o trazos que habían pasado desapercibidos y que, por lo tanto, no aparecían reflejadas en los calcos de los diferentes paneles. Este es el enfoque al que se han sometido varios fotogramas (Figura 1) que registran el aspecto superficial de uno de los ortostatos (número 16, cámara Norte) que componen la estructura funeraria prehistórica conocida como dolmen 3 de El Pozuelo, del que se sospechaba tuvo la pintura como acabado superficial.



Figura 1. Fotogramas del ortostato número 16 del dólmen 3 de El Pozuelo. (A) 9254; (B) 9255 y (C) 9264.

El conjunto dolménico de El Pozuelo (Zalamea la Real, Huelva) se excavó en los años 1945 y 1946 por Carlos Cerdán y fue objeto de una primera publicación en 1952,^{4,5} constituyéndose desde entonces como el grupo más claro y mejor documentado del megalitismo onubense. Se trata de 13 dólmenes agrupados en varios conjuntos que se sitúan en una franja de 5 kilómetros en torno a dos arroyos tributarios de la margen derecha del Río Tinto. La materia prima para la construcción de los dólmenes es de origen local, predominando las filitas. El dolmen número 3 es una estructura compleja, compuesta por un corredor que da paso a dos cámaras que se insertan en un túmulo circular de 16,50 m de diámetro delimitado por un anillo perimetral con un pavimento exterior adosado (Figura 2). En el área de acceso, adosado al sector NE del anillo, se sitúa un altar cuadrangular escalonado en dos niveles.

El ortostato en cuestión, número 16 (Figura 3), al igual que el resto de los ortostatos de esta estructura megalítica, presenta parte de su superficie original conservada en una franja de unos 30x50 cm, que había permanecido parcialmente soterrada en su base desde 1946. Las excavaciones arqueológicas de 2010 evidenciaron la presencia de pigmentos en la parte soterrada y mejor preservada del soporte, procediéndose seguidamente a su tapado mediante interposición de geotextil y tierra, al considerarse la medida de conservación preventiva más adecuada. Además del tono rojizo general, que contrastaba con el

color más grisáceo de la roca en las zonas que habían sufrido exfoliación, pudo detectarse una zona ligeramente más roja en el ángulo inferior derecho, que pareció oportuno revisar utilizando análisis digital de imágenes. Igualmente, se recogieron fragmentos de la capa más superficial de la roca que se encontraban en el sedimento para su inspección mediante microscopía electrónica de barrido con analizador por energía dispersiva de Rayos X (microscopio SEM Hitachi mod. S4800 SEM-FEG de alta resolución (1-3 nm), dotado de EDX Bruker X Flash Detector 4010).

La estrategia de DIA empleada consistió en a) descorrelación de los niveles digitales de las imágenes mediante análisis de Componentes Principales^{6,7}; b) elaboración de cubos sintéticos de imagen de seis bandas a partir de dos imágenes RGB y aplicación de análisis de Componentes Principales⁸; y c) aplicación de la técnica de incremento del contraste basada en la ecualización de imágenes HSI (HSI CS⁹, y una modificación de esta técnica que hemos denominado HSI *Equalised Contrast Stretch*).

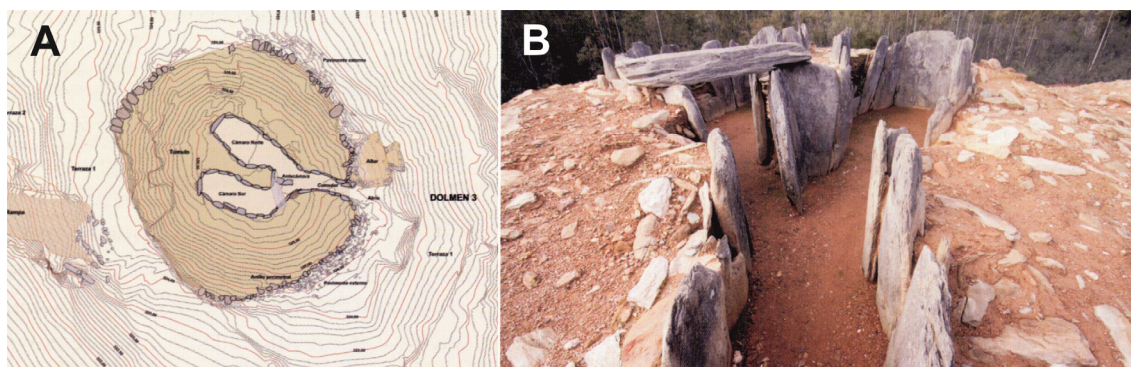


Figura 2. (A) Planta del dolmen 3 de El Pozuelo; (B) aspecto del corredor y la entrada a las dos cámaras.



Figura 3. Ortostato número 16 de la cámara Norte del dolmen 3 de El Pozuelo, vista frontal.

Los resultados obtenidos permiten comprobar que los fotogramas analizados presentan una alta correlación visual entre sus bandas, como es por otra parte habitual entre las bandas de visible¹⁰. La Figura 4 aporta un ejemplo significativo de esta correlación de bandas en una de las imágenes utilizadas, que fluctúa entre el 74 y el 95%. Esta alta correlación de partida posibilita que las bandas obtenidas mediante análisis de Componentes Principales resuman el 96,34; el 3,4 y el 0,25% de la varianza total y

por ello hace a la segunda y tercera CP las más apropiadas para detectar la presencia de los elementos menos presentes en el conjunto de la imagen (entre otros elementos, la pintura).

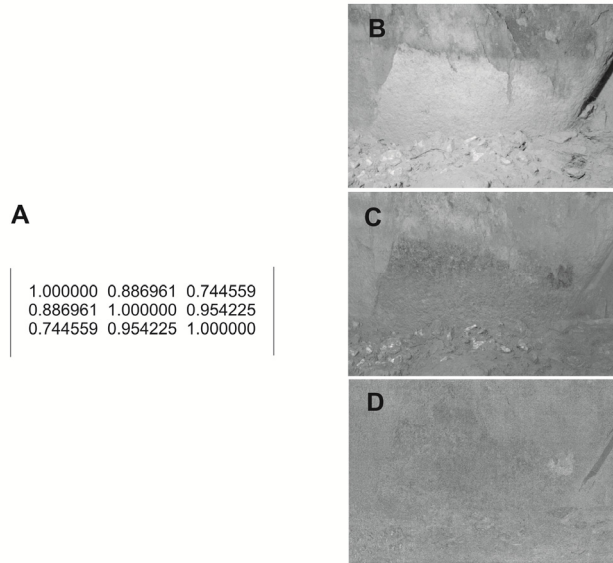


Figura 4. (A) Matriz de coeficientes de correlación del fotograma 9255; (B) banda correspondiente a la primera Componente Principal (CP); (C) banda correspondiente a la segunda CP; (D) banda correspondiente a la tercera CP.

Las imágenes en falso color elaboradas a partir de las bandas producto de Análisis de Componentes Principales de imágenes estándares RGB; las elaboradas mediante bandas producto de análisis de componentes principales de cubos de imagen de seis bandas (Figura 5) y las imágenes producto de las técnicas de incremento del contraste de imágenes en el espacio de color HSI permiten detectar la presencia de una anomalía en el aspecto superficial de la filita que puede describirse como motivo en zig-zag pintado. El tono rojizo general de la zona inferior de la roca corresponde a la presencia de hierro (Tabla 1) que no parece deberse a la aplicación de “pintura” sino más bien a procesos de movilización de los óxi(hidróxidos) de hierro presentes naturalmente en la roca (rubefacción).

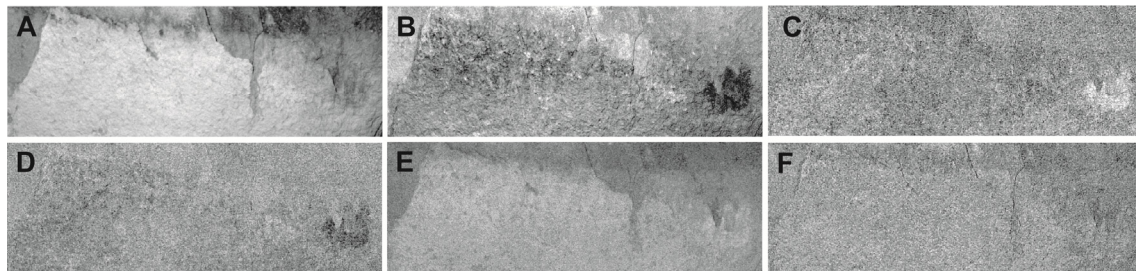


Figura 5. Bandas producto de análisis de componentes principales de un cubo de imagen de seis bandas; (A) primera CP; (B) segunda CP; (C) tercera CP; (D) cuarta CP; (E) quinta CP; (F) sexta CP. Puede apreciarse que las CP segunda, tercera y cuarta son las más apropiadas para resaltar el motivo en zig-zag del ángulo inferior derecho de las imágenes.

Tabla 1. Composición elemental puntual de dos zonas de la muestra DP3/09/1141

<i>Espectro</i>	<i>Elementos detectados</i>
1	O, Fe, Na, Al, Si, P, K, Ca, Ti
2	O, Fe, Na, Mg, Al, Si, P, K, Ca, Ti

La Figura 6 resume los resultados obtenidos utilizando las diferentes técnicas de DIA mencionadas más arriba. Tanto las imágenes en falso color utilizando las bandas de PCA en los tres fotogramas analizados (Figura 6A), como las imágenes en falso color elaboradas utilizando las bandas obtenidas mediante PCA del cubo de imagen de 6 bandas (Figura 6B), coinciden en resultados con las imágenes a las que se ha

incrementado el contraste utilizando técnicas basadas en imágenes en el espacio de color HSI (HSI CS y HSI ECS) (Figuras 6C-D), y muestran un elemento pintado definiendo un motivo en zig-zag sobre una superficie enrojecida debido a procesos de alteración superficial de la roca.

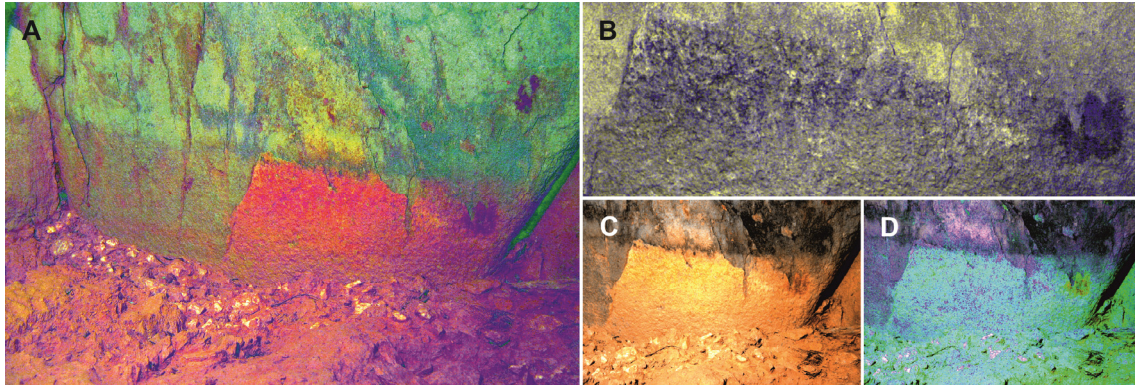


Figura 6. Imágenes en falso color del ortostato 16 del dólmen 3 de El Pozuelo: (A) con las tres bandas de PCA del fotograma 9254; (B) bandas 2,2 y 4 del cubo de imagen de 6 bandas; (C) HSI CS del fotograma 9255; (D) HSI ECS.

Conclusiones

Los resultados de las diferentes técnicas de análisis digital de imágenes utilizadas parecen coincidir en detectar una zona con una importante concentración de pigmentos que se conservan de manera fragmentaria debido a la exfoliación típica de las filitas. Estos pigmentos parecen definir un motivo en zig-zag que pudiera haber sido pintado a lo largo de la vida útil de la estructura funeraria de la que forma parte. Los pigmentos probablemente tengan como base un óxido(hidróxido) de hierro, diferente del hierro que aporta el tono rojizo general de la roca, puesto que la respuesta espectral es diferente en ambas áreas en el resultado obtenido en todas las técnicas de análisis de imagen empleadas.

La muestra física analizada no se corresponde con la zona pintada, toda vez que el contenido en hierro no es especialmente importante en comparación con la fuerza de los picos que marcan el silicio y el aluminio, base de la composición de la roca soporte.

Agradecimientos. Los autores quieren agradecer a la Dra. Liz Karen Herrera Quintero, de la Universidad Nacional de Colombia en Bogotá, la colaboración prestada al analizar una muestra de filita mediante SEM-EDX.

¹ M.A. Rogerio-Candelera, *Técnicas de análisis digital de imágenes para la documentación integral de la pintura rupestre*, Instituto de Recursos Naturales y Agrobiología de Sevilla, Sevilla, **2011**, p. 121.

² R. Mark, E. Billo, *Coalition*, **2006**, *11*, 10-14.

³ M.C. Portillo, M.A. Rogerio-Candelera, J.M. Gonzalez, C. Saiz-Jimenez, in *Actas del VII congreso Ibérico de Arqueometría*, S. Rovira, M. García-Heras, M. Gener, I. Montero (Eds.), Madrid, **2008**, pp. 97-107.

⁴ C. Cerdán, G. Leisner, V. Leisner, *Los sepulcros megalíticos de Huelva*, Comisaría de Excavaciones Arqueológicas, Madrid, **1952**.

⁵ J.A. Linares Catela, *Guía del Megalitismo en la Provincia de Huelva*, Junta de Andalucía / Ediciones SM, Madrid, **2011**.

⁶ M.A. Rogerio-Candelera, V. Jurado, L. Laiz, C. Saiz-Jimenez, *Journal of Archaeological Science*, **2011**, *38*, 2571-2578.

⁷ M.A. Rogerio-Candelera, *Cuadernos de Arte Rupestre*, **2013**, *6*, 53-67.

⁸ M.A. Rogerio-Candelera, F. Vanhaecke, M. Resano, P. Marzo, E. Porca, R. Alloza Izquierdo, C. Sáiz-Jiménez, in J.A. López Mira, R. Martínez Valle, C. Matamoras de Villa (Eds.), *El Arte Rupestre del Arco Mediterráneo de la Península Ibérica. 10 años en la lista del Patrimonio Mundial de la Unesco. Actas del IV Congreso. Valencia, 3, 4 y 5 de diciembre de 2008*, Generalitat Valenciana, Valencia, **2009**, pp. 327-334.

⁹ A.R. Gillespie, A.B. Kahle, R.E. Walker, *Remote Sensing of Environment*, **1986**, *22*, 343-365.

¹⁰ E. Chuvieco Salinero, *Teledetección ambiental. La observación de la Tierra desde el espacio*. Ariel, Barcelona, **2002**.